

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر ویژگی های پوشش کبالت- تنگستن

چکیده

با توجه به اهمیت پوشش‌های پایه تنگستن به عنوان جایگزین مناسبی برای پوشش‌های کروم سخت، در پژوهش حاضر آبرکاری آلیاژی کبالت-تنگستن بر روی زیرلایه فولاد ساده کربنی انجام شد. در ادامه به بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر روی ساختار و مورفولوژی پوشش حاصل پرداخته شد. فرایند آبرکاری پالسی در دمای 58°C به مدت 80 دقیقه در الکترولیت سیترات-بورات صورت گرفت. سپس فرایند عملیات حرارتی بر روی چهار نمونه با اندازه کریستالیت متفاوت صورت گرفت. این فرایند تحت خلاء در دمای 600°C به مدت 3 ساعت انجام شد. بررسی مورفولوژی و ترکیب پوشش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز (EDS) انجام شد. ساختار فازی و اندازه کریستالیت پوشش با استفاده از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) تعیین شد. سختی پوشش‌های حاصل بوسیله آزمایش دندان‌گذاری نانو (nano-indentation) و با استفاده از دستگاه تریبوسکوپ (triboscope) بدست آمد. آزمون نانو خراش نیز با استفاده از دستگاه تریبوسکوپ و دندان‌گذاری برکویچ انجام شد. نتایج بدست آمده نشان دادند که پوشش ایجاد شده در فرکانس 200Hz، سیکل کاری 20٪، چگالی جریان 1 A.dm^{-2} پوشش ایجاد شده با شرایط آبرکاری بهینه است. مقدار تنگستن این پوشش برابر 33/36 wt٪، اندازه کریستالیت آن 24/32nm و سختی آن برابر 3/97 GPa بوده است. نتایج نشان دادند عملیات حرارتی در دمای 600°C و به مدت 3 ساعت، سبب کریستالی شدن پوشش آمورف و افزایش اندازه کریستالیت پوشش کبالت-تنگستن حاصل می‌شود.

کلمات کلیدی: آلیاژ کبالت-تنگستن، آبرکاری پالسی، عملیات حرارتی

مقدمه

پوشش‌های الکترولیتی کروم-سخت به علت سختی/استحکام بالا همراه با ضریب اصطکاک پایین و مقاومت به خوردگی/سایش برای محافظت از زیرلایه، به طور گسترده در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از کروم شش ظرفیتی در محلول آبکاری به علت تولید مواد سمی از لحاظ زیست محیطی مشکلاتی را ایجاد می‌کند. به همین علت رسوب دهی همزمان تنگستن یا مولیبدن با یک یا چندی از فلزات گروه آهن نظیر آهن، کبالت یا نیکل مورد توجه قرار گرفته است.

پوشش‌های کبالت-تنگستن به علت مقاومت به سایش خوب نسبت به پوشش‌های کروم، سختی خوب، سطح صاف، خواص مغناطیسی ملایم و مقاومت به خوردگی قابل قبول مورد توجه قرار گرفته‌اند. آلیاژهای کبالت-تنگستن در سوپاپ‌ها و شیرها، قالب‌ها و پیچ‌ها، ابزار برش، توربین گازی و موتورهای جت مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد دیگر آلیاژهای حاوی تنگستن قالب‌های تزریق است. در صنایع الکترونیکی، آلیاژهای کبالت-تنگستن به عنوان لایه مانع برای جلوگیری نفوذ مس در طلا بکار می‌رود [Z. Ghaferi and et al, 2011; Z. Ghaferi and et al, 2010].

در تحقیق حاضر هدف بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر ویژگی‌های پوشش حاضر است. بدین منظور فرایند آبکاری پالسی با تغییر پارامترهای سیکل کاری، فرکانس و چگالی جریان متوسط انجام شد. پس از بررسی اندازه کریستالیت‌های پوشش‌های شکل گرفته با استفاده از آنالیز پراش اشعه ایکس چهار نمونه با چهار اندازه دانه متفاوت انتخاب شد و فرایند عملیات حرارتی بر روی آنها انجام شد. سپس ویژگی‌های این چهار پوشش قبل و بعد از عملیات حرارتی با هم مقایسه شد.

آزمایشات

آبکاری الکتريکی

در تحقیق حاضر آبکاری آلیاژ کبالت-تنگستن با استفاده از الکترولیت سیترا-بوریک اسید صورت گرفته است. ترکیب حمام عبارت اند از 0/2 mol/l سولفات کبالت هفت آب (CoSO₄·7H₂O)، 0/2 mol/l تنگستات سدیم دو آب (Na₂WO₄·2H₂O)، 0/25 mol/l تری سدیم سیترا دو آب (Na₃C₆H₅O₇·2H₂O)، 0/04 mol/l اسید سیتريک (C₆H₈O₇) و 0/65 mol/l اسید بوریک (H₃BO₃) است. تری سدیم سیترا به عنوان عامل کمپلکس کننده و اسید سیتريک و اسید بوریک به عنوان بافر اولیه و ثانویه برای ثابت نگه داشتن pH محلول در محدوده 6/7 افزوده شدند. آند مورد استفاده در این فرآیند ورق پلاتین با خلوص

99/99% است. کاتد مورد استفاده، فولاد کم کربن است. سطح کاتد قبل از فرایند پولیش مکانیکی شد. فرایند آبکاری پالسی در دمای 58 °C به مدت 80 دقیقه در الکترولیت سیترات-بورات صورت گرفت.

بررسی مورفولوژی سطحی و سطح مقطع با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی¹ (VEGA.TESCAN) در ولتاژ 30 kV صورت گرفت و تصاویر الکترون ثانویه² و الکترون برگشتی³ از سطح نمونه تهیه شد. برای تعیین ترکیب پوشش از آنالیز طیف سنجی تفکیک انرژی⁴ استفاده شد.

آزمون پراش پرتو ایکس⁵ با استفاده از دستگاه Goniometer(PW3050/60) صورت گرفت. برای آنالیز فازی از پرتو مربوط به تابش $\text{Cu } k_{\alpha}$ با طول موج $1/54060 \text{ \AA}$ ، ولتاژ 40 kV و آمپراژ 40 mA استفاده شد. جهت تعیین اندازه متوسط کریستالیت پوشش، با استفاده معادله شرر⁶ (معادله 1)، از پهنای پیک در نصف شدت ماکزیمم⁷ مربوط به صفحه (100) محلول جامد Co(W) استفاده شد:

$$d = \frac{0.9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

$$\beta^2 = B^2 - b^2 \quad (2)$$

که d اندازه کریستالیت، λ طول موج پرتو ایکس ($\text{Cu } k_{\alpha} = 1/54060 \text{ \AA}$)، β پهنای پیک در نصف شدت ماکزیمم اصلاح شده، B پهنای پیک در نصف شدت

¹. Scanning Electron Microscope(SEM)

². Secondary Electron(SE)

³. Back Scattered Electron(BSE)

⁴. Energy Dispersive Spectroscopy(EDS)

⁵. X-Ray diffraction(XRD)

⁶. Scherrer Equation

⁷. FWHM

ماکزیم، b خطای مربوط به پهن شدن پیک و θ زاویه تفرق است [Feng-Hua Su and et al, 2010].

آزمایش دندان‌گذاری نانو⁸ با استفاده از دستگاه تریبوسکوپ⁹ و دندان‌گذار برکویچ¹⁰ انجام شد. دندان‌گذار برکویچ دارای دندان‌های الماسه با زاویه 142/3 درجه و قطر $R = 1.0 \mu\text{m}$ است. در این آزمون، مدت زمان نفوذ 30 ثانیه و زمان نگه داشتن نفوذ کننده در پوشش 10 ثانیه بود. نیروی اعمالی برابر با $5000 \mu\text{N}$ بوده است و آزمون برای هر نمونه حداقل 6 مرتبه تکرار و منحنی نیرو (μN) بر حسب جابه‌جایی (nm) یا همان عمق نفوذ به دست آمد. بدین ترتیب سختی سطح نمونه با استفاده از معادله (3) محاسبه شد:

$$H = \frac{P_{\max}}{A} \quad (3)$$

که در آن P_{\max} بیشینه نیروی بارگذاری شده و A سطح در معرض تماس با سوزن در حداکثر بارگذاری است. سطح در معرض تماس (A) بسته به شکل سطح مقطع سوزن و عمق نفوذ به دست می‌آید [ع. کریم زاده، م. آیت‌اللهی، 1392].

بررسی مقاومت به خراش

آزمون نانو خراش با استفاده از دستگاه تریبوسکوپ و دندان‌گذار برکویچ انجام شد. در این آزمون نیروی عمودی بر سر دندان‌های اعمال می‌شود تا دندان‌های درون نمونه فرو رود. سپس جابجایی عمودی یا همان عمق متناظر با این نیرو در نمونه ایجاد می‌شود. در اثر حرکت نوک دندان‌های در نمونه نیروی افقی در طول خراش و توسط نمونه بر دندان‌های اعمال می‌شود که این نیرو سبب ایجاد مقدار جابجایی در طول خراش می‌گردد. کل زمان تست در این آزمون برابر 30 ثانیه، مقدار نیروی اعمالی برابر $4000 \mu\text{N}$ و طول خراش برابر $4 \mu\text{m}$ بوده است. نسبت LF/NF به عنوان ضریب اصطکاک شناخته می‌شود.

فرایند عملیات حرارتی

⁸. Nano-Indentation

⁹. Triboscope System (Hysitron Inc, Usa)

¹⁰. Berkovich

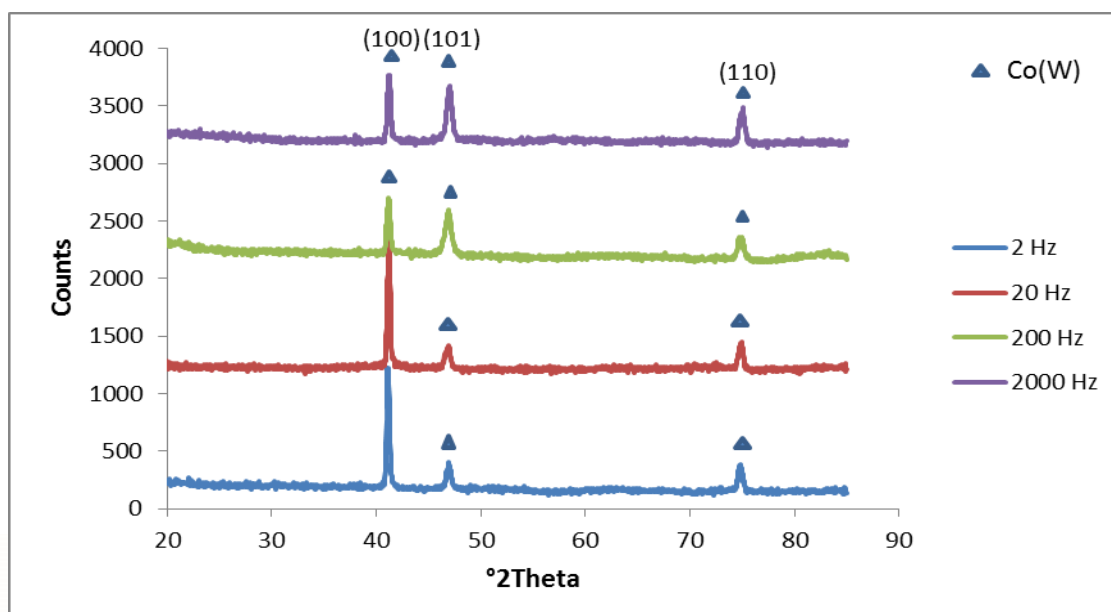
این فرایند بر روی نمونه های 1، 3، 7 و 11 که در متن به آن ها اشاره شده است، به منظور بررسی تاثیر عملیات حرارتی بر روی اندازه کریستالیت، نوع فاز، مورفولوژی صورت گرفت. نمونه ها داخل لوله کوارتز تحت خلاء قرار گرفتند. مقدار خلاء این لوله ها 0/001 Torr بوده است. سپس لوله های کوارتز در داخل کوره مقاومتی با دقت دمایی یک رقم اعشار قرار گرفتند. نمونه ها از ابتدا وارد کوره شده و همزمان با افزایش دمای کوره گرم شدند. فرایند در دمای 600 °C به مدت 3 ساعت انجام شد. سرد شدن نمونه ها پس از اتمام فرایند در داخل کوره صورت گرفت. بعد از سرد شدن کامل، نمونه ها از کوره خارج شده و بررسی مورفولوژی ساختاری، سطح مقطع، ترکیب پوشش، آنالیز فازی و تعیین اندازه کریستالیت مشابه با روش ذکر شده برای فرایند آبکاری صورت گرفت.

نتایج

آبکاری پالسی و بررسی اندازه کریستالیت پوشش

تاثیر فرکانس

شکل 1 تاثیر فرکانس بر الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کبالت-تنگستن را نشان می دهد. فاز اصلی موجود در پوشش محلول جامد تنگستن در کبالت hcp است و تغییر فرکانس تاثیری بر ترکیب فازی پوشش ندارد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش فرکانس تا 200 Hz ابتدا پهنای پیک ها افزایش و سپس کاهش می یابد. افزایش پهنای پیک بر اساس رابطه شرر، به منزله کاهش اندازه کریستالیت ها در پوشش است. جدول 1 تاثیر فرکانس پالس را بر اندازه کریستالیت در پوشش کبالت-تنگستن نشان می دهد. مشاهده می شود که اندازه کریستالیت های پوشش تا فرکانس 200 هرتز کاهش و سپس افزایش می یابد.



شکل 1- تاثیر فرکانس بر الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کبالت-تنگستن.

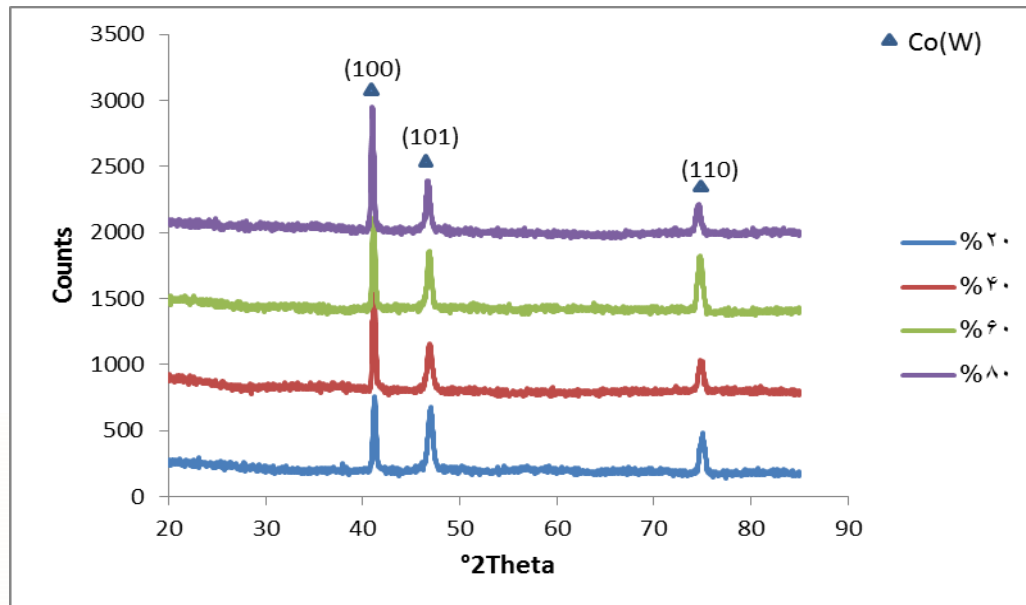
جدول 1- تاثیر فرکانس بر اندازه کریستالیت پوشش کبالت-تنگستن.

شماره نمونه	فرکانس (Hz)	اندازه کریستالیت (nm)
1	2	34/46
2	20	33/05
3	200	24/32
4	2000	29/56

تاثیر سیکل کاری

شکل 2 تاثیر سیکل کاری بر الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کبالت-تنگستن را نشان می دهد. فاز اصلی موجود در پوشش محلول جامد تنگستن در کبالت hcp است و تغییر سیکل کار تاثیری بر ترکیب فازی پوشش ندارد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش سیکل کاری تا سیکل 40٪، ابتدا پهنای پیکها افزایش و سپس کاهش می یابد. افزایش پهنای پیک بر اساس رابطه شرر، به منزله کاهش اندازه کریستالیتها در پوشش است. با توجه به جدول 2 مشاهده

می‌شود که با افزایش سیکل کاری اندازه کریستالیت پوشش ابتدا تا سیکل 40% کاهش و سپس افزایش می‌یابد.



شکل 2- تاثیر سیکل کاری بر الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کبالت-تنگستن.

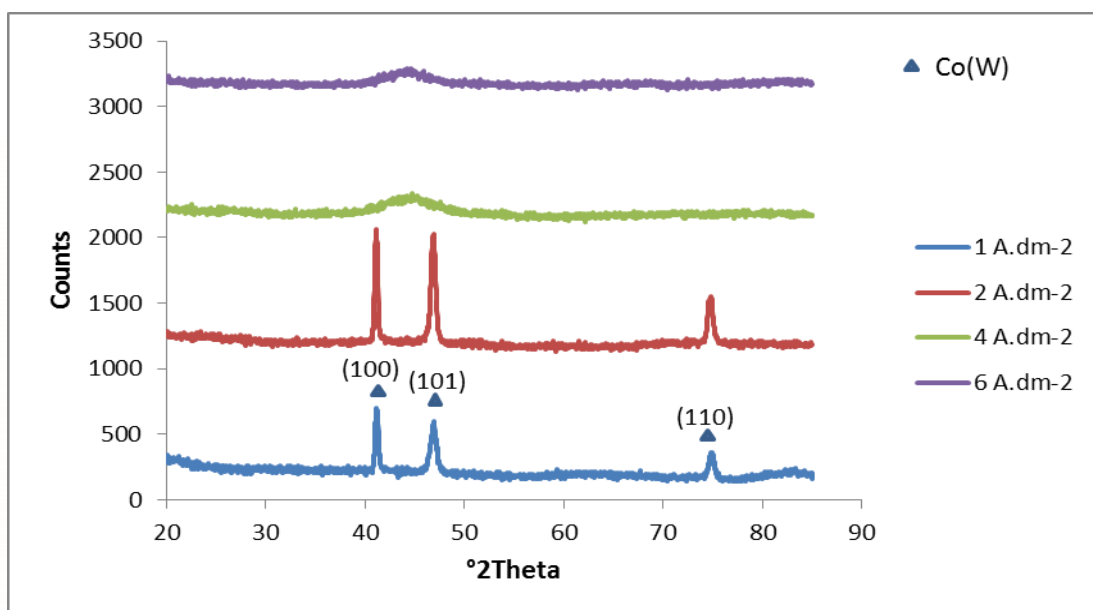
جدول 2- تاثیر سیکل کاری بر اندازه کریستالیت پوشش کبالت-تنگستن.

شماره نمونه	سیکل کاری (%)	اندازه کریستالیت (nm)
5	20	29/56
6	40	26
7	60	27/94
8	80	30/32

تاثیر چگالی جریان متوسط

شکل 3 تاثیر چگالی جریان بر الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کبالت-تنگستن را نشان می‌دهد. فاز اصلی موجود در پوشش‌های کریستالی محلول جامد تنگستن در کبالت hcp است. با توجه به نتایج بدست آمده انعکاس (100) و (101) و (110) کبالت hcp در زوایای 2θ به ترتیب $41/685^\circ$ ، $47/569^\circ$ و $75/941^\circ$ طبق کارت JCPDS-05-0727، در اثر حل شدن تنگستن در ساختار شبکه hcp و با افزایش غلظت تنگستن، به زوایای پایین منتقل می‌شود. که نشان دهنده افزایش در

فواصل بین صفحه ای شبکه hcp است. با افزایش بیشتر جریان شاهد تشکیل فاز آمورف در پوشش هستیم. تشخیص اینکه ترکیب فازی این پوشش آمورف از نوع محلول جامد تنگستن در کبالت است یا ترکیب بین فلزی کبالت و تنگستن، مشکل است. جدول 3 تاثیر چگالی جریان بر اندازه کریستالیت ها در پوشش های کریستالی کبالت-تنگستن را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش جریان ابتدا اندازه کریستالیت ها افزایش و سپس بسیار کاهش یافته و پوشش آمورف تشکیل شده است.



شکل 3- تاثیر چگالی جریان بر الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کبالت-تنگستن.

با مقایسه بین نمونه های مختلف، چهار نمونه با چهار اندازه کریستالیت انتخاب شدند. نمونه های با شماره 1، 3، 7 و 11 که دارای اندازه کریستالیت بیشترین، کمترین، متوسط و آمورف هستند. فرایند عملیات حرارتی بر روی این چهار نمونه انجام شدند.

جدول 3: تاثیر چگالی جریان متوسط بر اندازه کریستالیت پوشش کبالت-تنگستن.

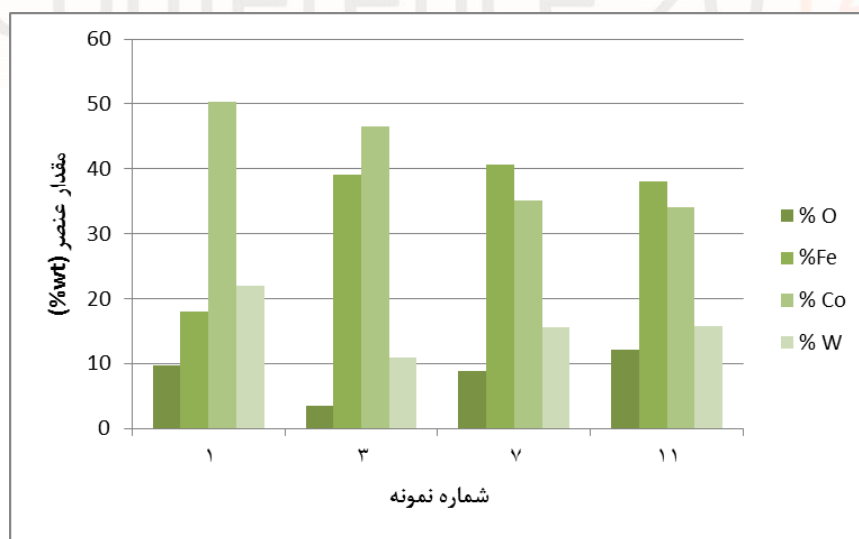
اندازه کریستالیت (nm)	چگالی جریان متوسط ($A.dm^{-2}$)	شماره نمونه
-----------------------	-----------------------------------	-------------

9	1	24/32
10	2	29/24
11	4	آمورف
12	6	آمورف

عملیات حرارتی

بررسی ترکیب شیمیایی پوشش کبالت-تنگستن

شکل 4 ترکیب عناصر را در نمونه های عملیات حرارتی شده و جدول 4 ترکیب عناصر قبل و بعد از عملیات حرارتی را نشان می دهد. حضور اکسیژن در کلیه نمونه های عملیات حرارتی شده دیده می شود. علت این امر احتمالاً بدلیل حضور مقدار اندکی اکسیژن در کپسول خلاء می باشد. همچنین در ترکیب کلیه پوشش ها حضور آهن نیز مشاهده می شود که در نمونه های قبل از عملیات حرارتی وجود نداشتند. علت این امر احتمالاً نفوذ به سمت خارج آهن زیرلایه به سطح پوشش و واکنش این آهن با ترکیبات موجود در پوشش است. مشاهده می شود که در اثر عملیات حرارتی، مقدار تنگستن و کبالت پوشش کاهش می یابد. علت این امر نیز احتمالاً به دلیل نفوذ به سمت داخل این عناصر در هنگام عملیات حرارتی باشد.

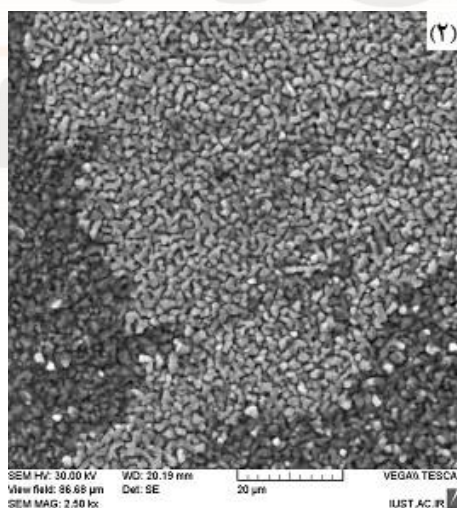


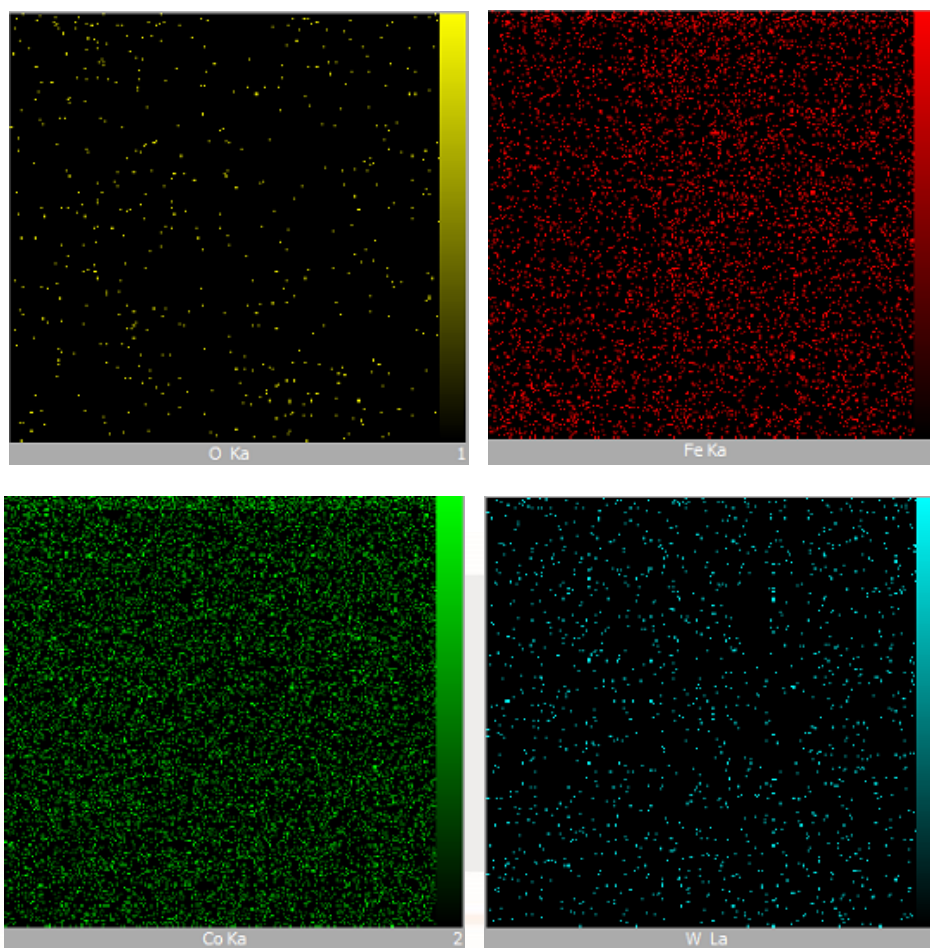
شکل 4- نمودار تاثیر عملیات حرارتی بر مقدار عناصر در پوشش کبالت-تنگستن.

جدول 4- ترکیب شیمیایی پوشش قبل و بعد از عملیات حرارتی (درصد وزنی).

شماره نمونه	%Co		%W		%O		%Fe	
	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
1	62/12	50/33	37/88	21/92	-	9/7	-	18/05
3	66/64	46/55	33/36	10/98	-	3/41	-	39/06
7	60/97	35/05	39/03	15/5	-	8/75	-	40/7
11	55/22	34/11	44/78	15/73	-	12/11	-	38/05

شکل 5 نقشه توزیع عناصر در پوشش شماره 1 بعد از عملیات حرارتی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود توزیع کلیه عناصر در پوشش به صورت کاملاً یکنواخت صورت گرفته است.

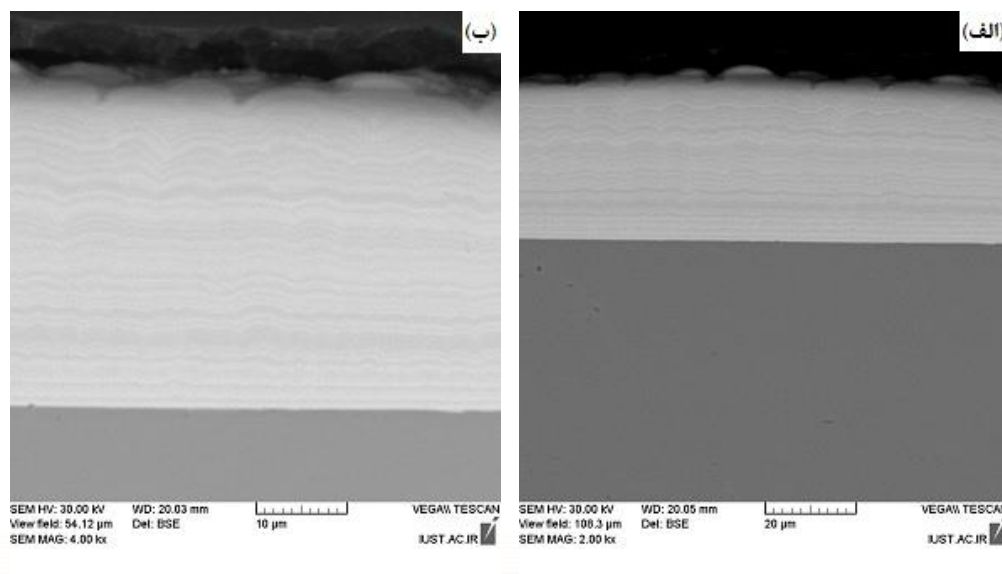




شکل 5- نقشه توزیع عناصر در پوشش کبالت-تنگستن بعد از عملیات حرارتی.

بررسی سطح مقطع پوشش کبالت-تنگستن

شکل 6 تصاویر میکروسکوپی روبشی سطح مقطع نمونه 7 در بزرگنمایی‌های متفاوت را بعد از عملیات حرارتی نشان می‌دهد. ساختار لایه‌ای رسوب بعد از عملیات حرارتی کاملاً مشخص است. همانطور که مشخص است بعد از عملیات حرارتی نیز پوشش دارای ساختار متراکم همراه با فصل مشترک صاف و یکنواخت است. همچنین پوشش عاری از هرگونه ترک و تخلخل است.

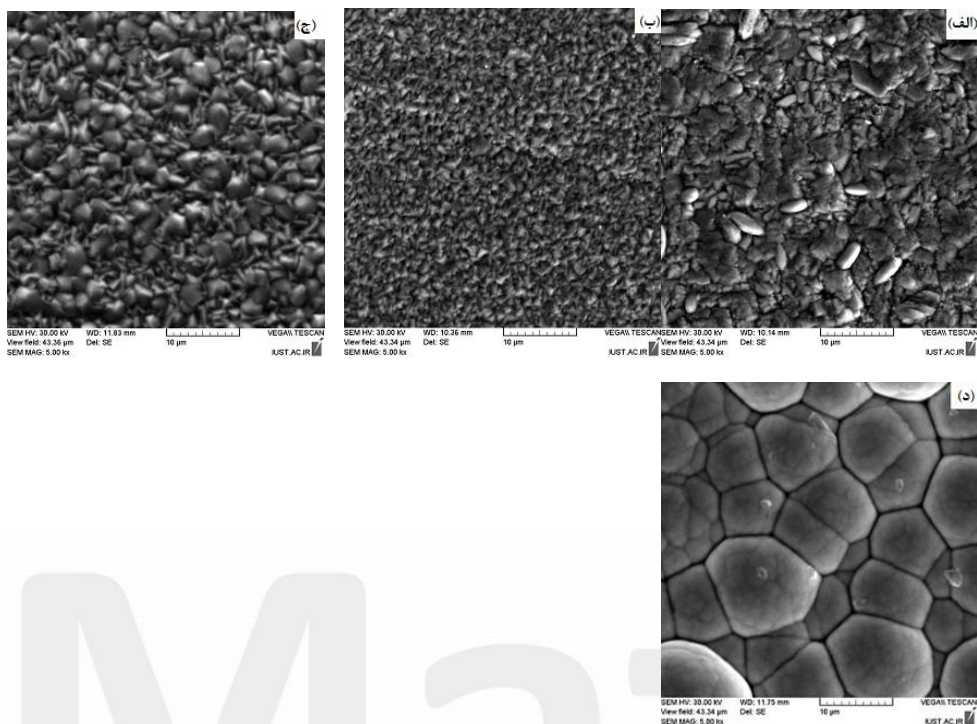


شکل 6- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی سطح مقطع نمونه 7 بعد از عملیات حرارتی در بزرگنمایی‌های الف) 2000 و ب) 4000.

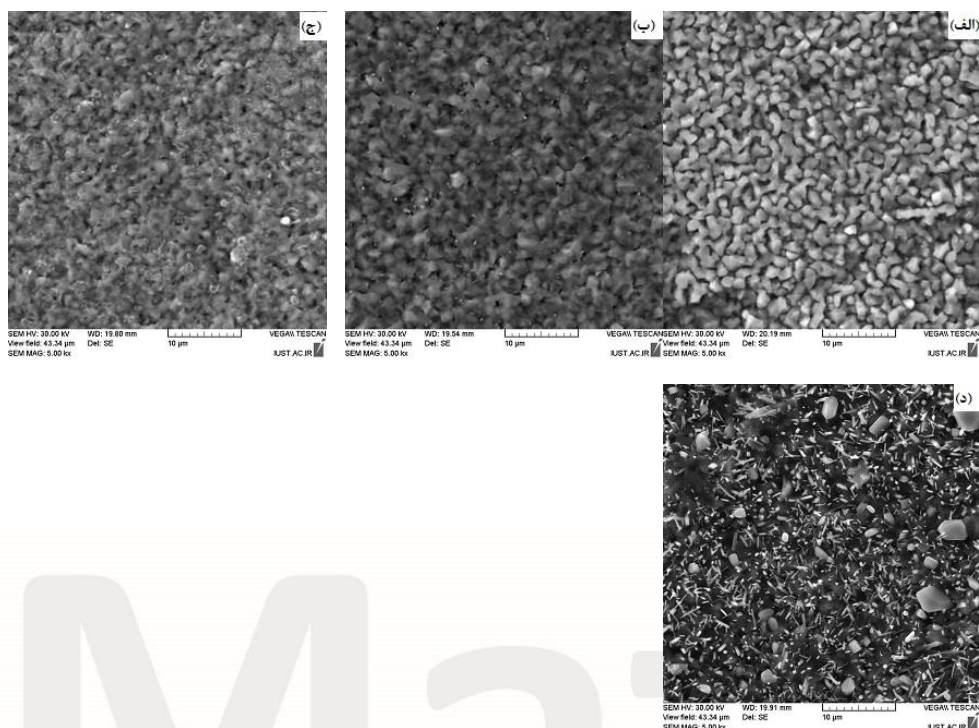
بررسی مورفولوژی پوشش کبالت-تنگستن

شکل 7 و 8 (الف-د) تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی نمونه‌ها قبل و بعد از عملیات حرارتی شده را نشان می‌دهد. با مقایسه تصاویر مشاهده می‌شود که عملیات حرارتی سبب تغییر مورفولوژی سطحی پوشش‌ها شده است. حرارت دهی سبب زینتر شدن دانه‌های سطحی در نمونه‌های 1، 3 و 7 می‌شود. مورفولوژی از حالت هرمی خارج شده و دانه‌های سطحی درشت‌تر شده و اتصال این دانه‌ها بهم صورت گرفته است. در مورد نمونه 11 با تغییرات کاملاً محسوس مورفولوژی مواجه هستیم. قبل از عملیات حرارتی این نمونه دارای مورفولوژی با دانه‌های کروی و لاک پشتی شکل است اما پس از عملیات حرارتی با زینتر شدن کامل پوشش مواجه هستیم. در این پوشش تیغه‌ها و ذرات سفید رنگی مشاهده می‌شود که جدول 5 مقدار عناصر موجود در این تیغه‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به ترکیبات حاضر در پوشش و نتایج الگوی پراش پرتو ایکس احتمالاً این تیغه‌ها اکسید ترکیبی از کبالت و آهن و تنگستن هستند.



شکل 7- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی پوشش کبالت-تنگستن بعد از عملیات حرارتی ،
نمونه‌های شماره الف) 1 ، ب) 3 ، ج) 7 ، د) 11.



شکل ۸ - تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی پوشش کبالت-تنگستن بعد از عملیات حرارتی ، نمونه‌های شماره (الف) ۱ ، (ب) ۳ ، (ج) ۷ ، (د) ۱۱.

جدول ۵- آنالیز تیغه‌های سفید رنگ در شکل ۸ (د).

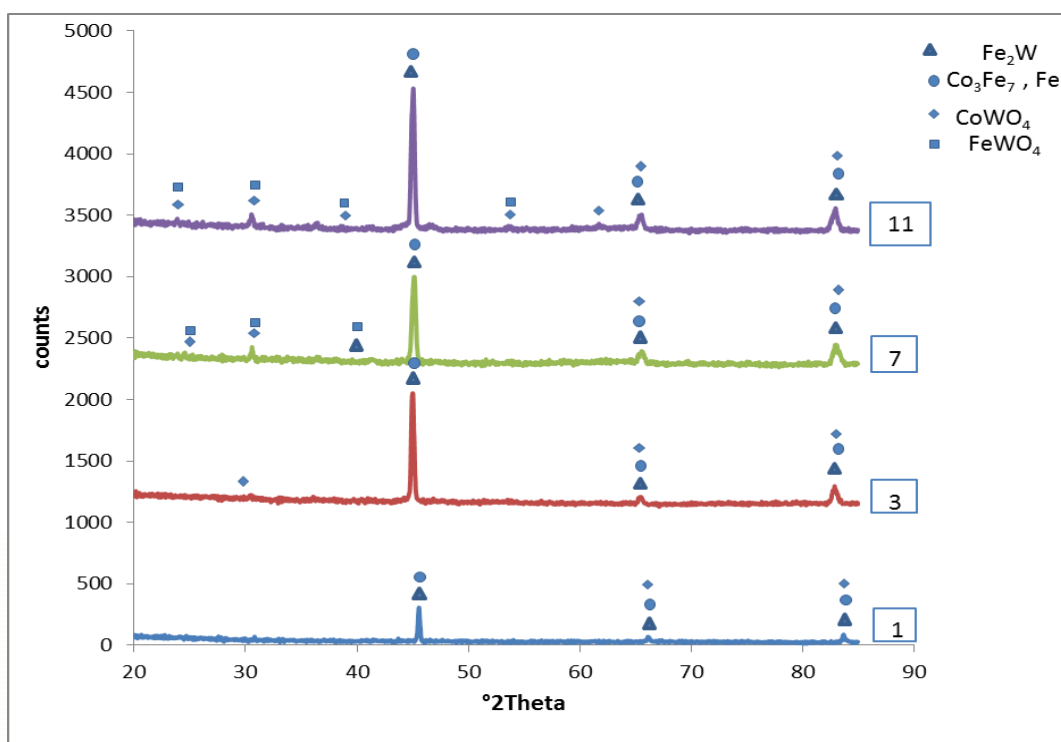
نوع عنصر	Fe	Co	O	W
مقدار (%wt)	23/58	16/21	24/04	35/90

آنالیز فازی، اندازه کریستالیت و بافت کریستالی پوشش کبالت-تنگستن

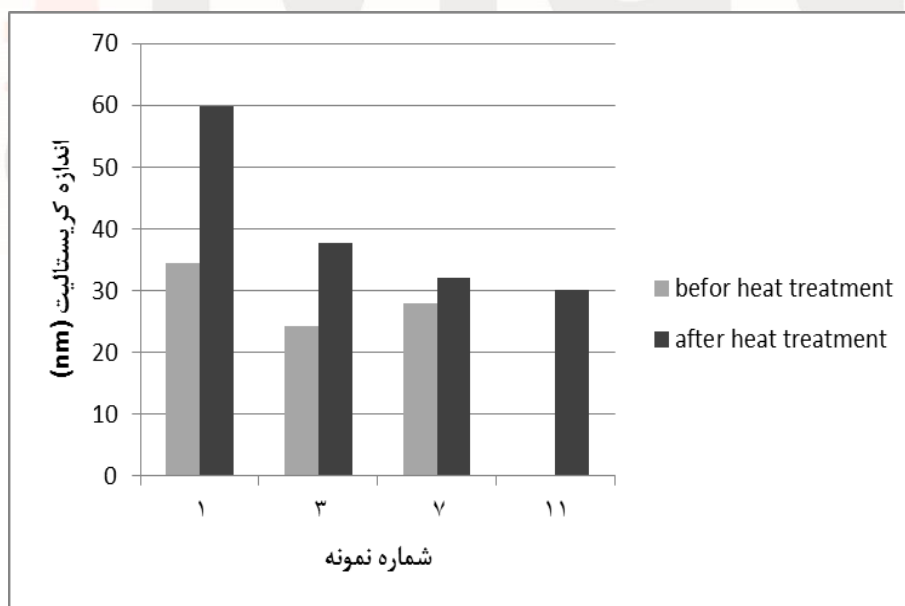
شکل ۹ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های عملیات حرارتی شده را نشان می‌دهد. مشخص است که در اثر عملیات حرارتی نمونه‌های ۱، ۳ و ۷ ساختار کریستالی خود را حفظ کردند و نمونه ۱۱ نیز از ساختار آمورف به ساختار کریستالی تبدیل می‌شود. بررسی‌های انجام شده نشان دادند که با توجه به

نفوذ به سمت خارج آهن و حضور آهن و اکسیژن در پوشش احتمال تشکیل ترکیبات متفاوت از چهار عنصر کبالت، تنگستن، آهن و اکسیژن در پوشش وجود دارد. با توجه به الگوی پراش پرتو ایکس سه پیک اصلی موجود در پوشش تطبیق زیادی با الگوی پراش پرتو ایکس زیرلایه دارد. البته با توجه به عناصر موجود، این سه پیک علاوه بر آهن می‌تواند بیانگر حضور فازهای Fe_2W و Co_3Fe_7 در پوشش باشد. با توجه به حضور اکسیژن در پوشش پیک‌های کوچکی در الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌ها دیده می‌شوند که بیانگر حضور فازهای اکسیدی FeWO_4 و CoWO_4 در پوشش هستند.

شکل 10 تاثیر عملیات حرارتی بر اندازه کریستالیت پوشش را نشان می‌دهد. عملیات حرارتی بر روی ساختار پوشش، فازهای موجود و اندازه کریستالیت‌های پوشش موثر است. فرایند حرارت دهی سبب افزایش اندازه کریستالیت‌ها در نمونه‌های کریستالی می‌شود. آلیاژ نانو کریستالی نیمه پایدار است به خاطر اینکه این مواد کسر بزرگی از جرم متمرکز در مرزهای دانه با انرژی آزاد اضافی ذخیره شده در مرزهای دانه دارند. در نتیجه، با گرم کردن، این مواد سعی در کاهش انرژی خود با تشکیل میکروساختار حالت پایدار دارند که به عنوان فرآیند تبلور مجدد شناخته می‌شود [N. Tsyttsaru and et al, 2012]. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود با انجام این فرایند اندازه کریستالیت‌ها در کل نمونه‌ها افزایش یافته است. فرایند آبکاری پالسی به دلیل ویژگی‌های ذاتی فرایند باعث تشکیل میکروساختار بسیار پرانرژی و ناپایدار ترمودینامیکی می‌شود. در نتیجه این انرژی آزاد بالا در میکروساختار، پوشش نیروی محرکه بالایی برای تبلور مجدد در دمای بالای آنیل خواهد داشت که به نرخ بالای جوانه زنی می‌انجامد. اندازه نهایی کریستالیت‌ها پس از تبلور مجدد تابع دو عامل نرخ جوانه زنی و رشد است. در نمونه آمورف نیز انتقال از حالت آمورف به کریستالی رخ داده است. افزایش اندازه کریستالیت ناشی از این امر است که ساختار آمورف دارای انرژی داخلی بسیار بالایی است. این انرژی داخلی بالا در دمای بالا شرایط را برای فرایند جوانه زنی و تبلور نواحی آمورف فراهم می‌آورد.



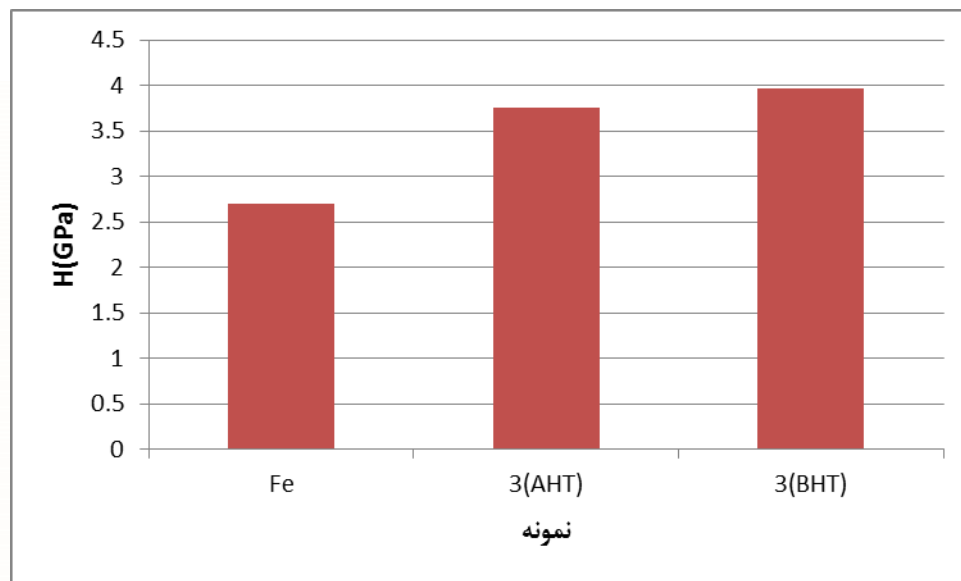
شکل 9- الگوی پراش پرتو ایکس پوشش کبالت-تنگستن بعد از عملیات حرارتی.



شکل 10- تاثیر عملیات حرارتی بر اندازه کریستالیت پوشش کبالت-تنگستن.

بررسی سختی

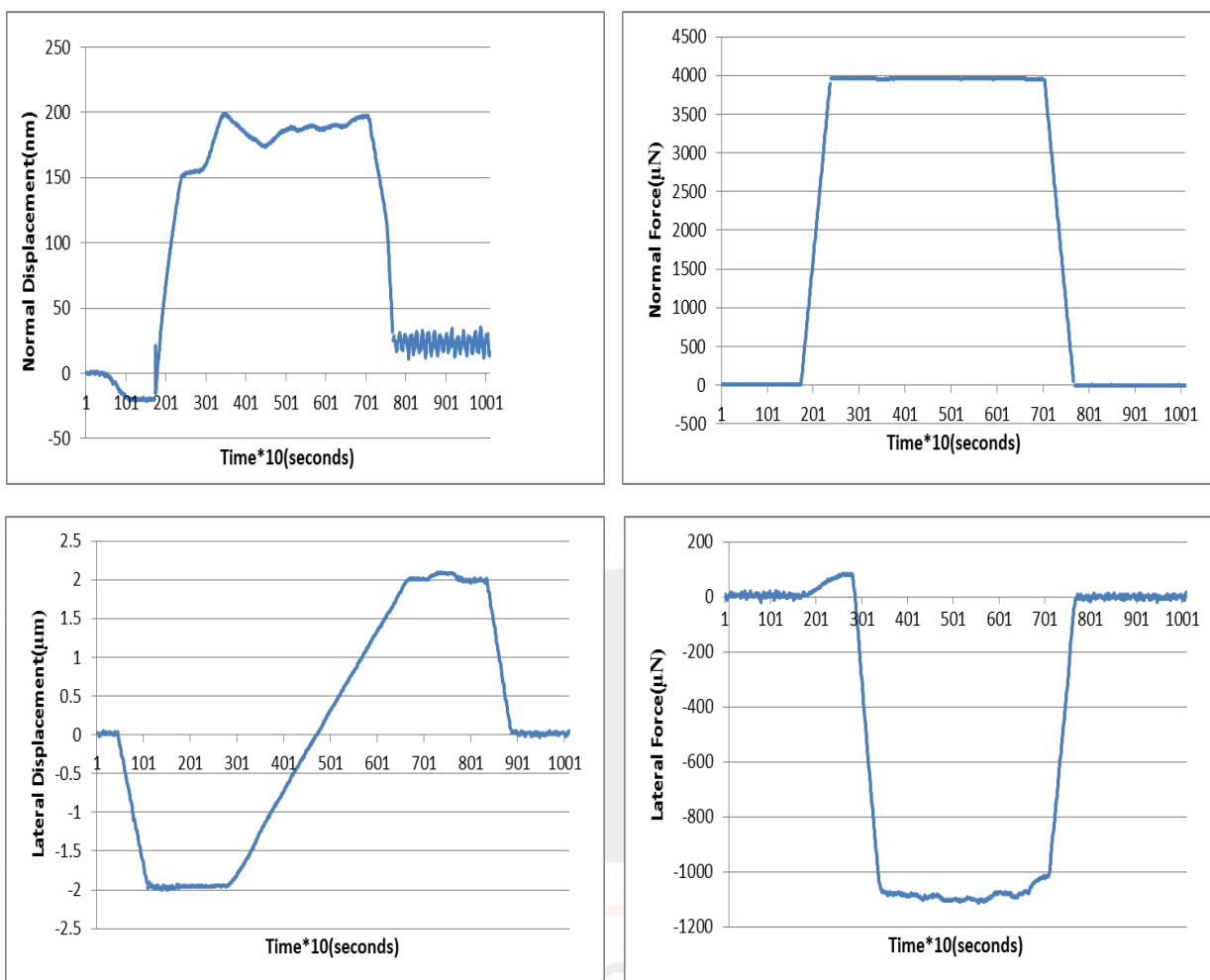
شکل 11 سختی نمونه بدون پوشش و نمونه 3 پوشش داده شده و عملیات حرارتی شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که سختی نمونه بدون پوشش از نمونه پوشش داده شده و نمونه عملیات حرارتی شده کمتر است. همانطور که ذکر شد میکروسختی آلیاژ رسوب داده شده متأثر از اندازه دانه، مقدار تنگستن و جهت‌گیری کریستالی است [Fenghua su and et al, 2013; Fenghua Su and et al, 2013; D.P. Weston and et al, 2010] در پوشش تشکیل شده حضور تنگستن و ساختار نانو کریستالی حاصل سبب بهبود سختی نمونه بعد از پوشش دهی شده است. اما در مقایسه بین نمونه پوشش داده شده قبل و بعد از عملیات حرارتی مشاهده می‌گردد سختی پوشش بعد از عملیات حرارتی به علت فرایند تبلور مجدد و رشد کریستالیت‌ها کاهش یافته است.



شکل 11- سختی نمونه زیر لایه، پوشش بعد از عملیات حرارتی (AHT) (after heat treatment) و قبل از عملیات حرارتی (BHT) (before heat treatment).

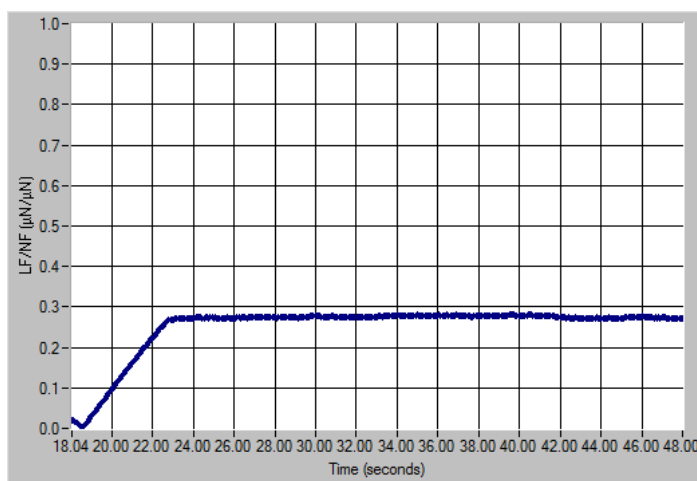
نتایج حاصل از آزمون خراش

شکل 12 نمودار نیروی عمودی، جابجایی عمودی، نیروی افقی و جابجایی افقی نسبت به زمان در نمونه زیر لایه را نشان می‌دهد.



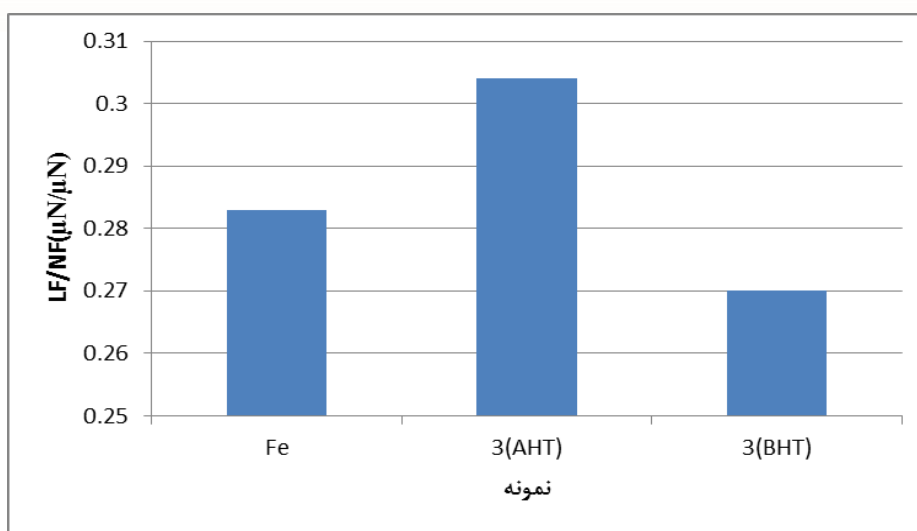
شکل 12- نمودار نیروی عمودی، جابجایی عمودی، نیروی افقی و جابجایی افقی نسبت به زمان.

شکل 13 نمودار تغییر نسبت LF/NF (نسبت نیروی افقی به نیروی عمودی) به زمان را در نمونه زیرلایه نشان می‌دهد. مقدار جاییکه نمودار بر روی محور عمودی تقریباً بصورت خط صاف در آمده است مقدار ضریب اصطکاک است. مشاهده می‌شود ضریب اصطکاک در طول 22 ثانیه اول تا حدود 0/28 افزایش یافت.



شکل 13- نمودار تغییر نسبت LF/NF (نسبت نیروی افقی به نیروی عمودی) به زمان را در نمونه زیرلایه.

شکل 14 نسبت LF/NF را در نمونه بدون پوشش و نمونه 3 پوشش داده شده و عملیات حرارتی شده را نشان می‌دهد. این نسبت به عنوان ضریب اصطکاک شناخته می‌شود. مشاهده می‌گردد مقدار ضریب اصطکاک نمونه قبل از عملیات حرارتی پایین‌تر از مقدار ضریب اصطکاک نمونه بعد از عملیات حرارتی می‌باشد. در اثر عملیات حرارتی اتصال دانه‌های سطحی به هم صورت گرفته و عملیات زینتر شدن اتفاق افتاده است. درشت شدن دانه‌های سطحی سبب افزایش ضریب اصطکاک پوشش شده است. پوشش آلیاژی کبالت-تنگستن قبل از عملیات حرارتی ضریب اصطکاک پایینی را دارد و در نتیجه مقاومت به سایش بهتری را نشان می‌دهد. علت این امر سختی بالای این پوشش همراه با ساختار hcp آن است [D.P.Weston and et al, 2009].



شکل 14- نمودار نسبت LF/NF را در نمونه زیرلایه و نمونه 3 بعد از عملیات حرارتی (after heat treatment(AHT) و قبل از عملیات حرارتی (before heat treatment(BHT)).

نتیجه گیری

- 1- در اثر انجام عملیات حرارتی، تغییر مورفولوژی و کریستالی شدن پوشش آمورف و افزایش اندازه کریستالیت در پوشش‌های نانو کریستالی رخ داد.
- 2- در مقایسه بین نمونه پوشش داده شده قبل و بعد از عملیات حرارتی و نمونه زیر لایه مشاهده می‌گردد سختی پوشش بعد از عملیات حرارتی به علت فرایند تبلور مجدد و رشد کریستالیت‌ها کاهش یافته است و بیشترین سختی متعلق به پوشش قبل از عملیات حرارتی می باشد.
- 2- با مقایسه بین سه نمونه زیر لایه، پوشش نانو کریستالی Co-W و پوشش عملیات حرارتی شده مشاهده می‌شود پوشش آلیاژی کبالت-تنگستن قبل از عملیات حرارتی ضریب اصطکاک پایینی را دارد و در نتیجه مقاومت به سایش بهتری را نشان می‌دهد.

منابع

- D.P. Weston, S.J. Harris, P.H. Shipway, N.J. Weston, G.N. Yap, (2010), "Establishing Relationships Between Bath Chemistry, Electrodeposition And Microstructure Of Co-W Alloy Coatings Produced From A Gluconate Bath", *Electrochimica Acta*, 55, 5695-5708.
- D.P. Weston, P.H. Shipway, S.J. Harris, M.K. Cheng, (2009), "Friction And Sliding Wear Behaviour Of Electrodeposited Cobalt And Cobalt-Tungsten Alloy Coatings For Replacement Of Electrodeposited Chromium", *Wear*, 267, 934-943
- Fenghua Su, Cansen Liu, Ping Huang, (2013), "Establishing Relationships Between Electrodeposition Techniques, Microstructure And Properties Of Nanocrystalline Co-W Alloy Coatings", *Journal Of Alloys And Compounds*, 557, 228-238.
- Fenghua Su, Cansen Liu, Ping Huang, (2013), "Friction And Wear Of Nanocrystalline Co And Co-W Alloy Coatings Produced By Pulse Reverse Electrodeposition", *Wear*, 120, 934-943.
- Feng-Hua Su, Ping Huang, (2012), "Microstructure And Tribological Property Of Nano Crystalline Co-W Alloy Coating Produced By Dual -Pulse Electro Deposition", *Materials Chemistry And Physics*, 134, 350-359.
- N. Tsyntsar, H. Cesiulis, A. Budreika, X. Ye, R. Juskenas, J.-P. Celis, (2012), "The Effect Of Electrodeposition Conditions And Post-Annealing On Nanostructure Of Co-W Coatings", *Surface & Coatings Technology*, 206, 4262-4269
- Z. Ghaferi, K. Raeissi, M.A. Golozar, H. Edris, (2011), "Characterization Of Nanocrystalline Co-W Coatings On Cu Substrate, Electrodeposited From A Citrate-Ammonia Bath", *Surface & Coatings Technology*, 206, 497-505.

Z. Ghaferi, K. Raeissi, M. A. Golozar, A. Saatchi And S. Kabi ,(2010), "Comparison Of Electrodeposition Aspects And Characteristics Of Ni-W And Co-W Alloy Nanocrystalline Coating", *Iranian Journal Of Materials Science & Engineering* Vol. 7, Number 4.

ع. کریم زاده، م. آیت الهی. خرداد ۱۳۹۲، "بررسی ترموسایکلینگ بر خواص مکانیکی نانو کامپوزیت دندانی"، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۳، شماره ۳، ص ۱-۹.

iMat
Conference 2014